Vol.12, No.2, Summer 2023, pp.47-62 ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

Journal of Geography and Environmental Hazards

RESEARCH ARTICLE DOI: 10.22067/geoeh.2022.77129.1242 Open access

Investigating the Accuracy and Efficiency of Hydrological Re-Analyzed Models in Estimating the Evaporation Rate from Dam Reservoirs (Case Study: Yamchi Dam, Ardabil)

Zahra Vahabzadeh[a], Atabak Feizi [b*], Leila Malekani [b]

[a] M.Sc. Student in Civil Engineering-Water Resource Management and Engineering, Department of Civil Engineering, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

[b] Associate Professor, Department. of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

[c] Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Technical and Engineering of Marand, University of Tabriz, Iran

Received: 12 June 2022 ***Revised: 25 November 2022*** ***Accepted: 1 December 2022***

Abstract

In this study, the efficiency of hydrological re-analyzed models SWBM, HTESSEL, HBV-SIMREG, Ensemble, and LISFLOOD in estimating the rate of evaporation from the reservoir of Yamchi dam in Ardabil was investigated. The evaporation values obtained from the re-analyzed models were validated using the findings of Penman's analytical equation and the values of eight experimental models. In addition to the methods, the accuracy of re-analyzed models was evaluated using the feed forward neural network. The resulting feed forward neural network was designed in two stages with two and three hidden layers and each was evaluated in three different combinations of network inputs. According to the findings, the values generated from the Penman analytical model had a correlation coefficient of 0.9 with the data received from studied area's evaporation pan. Among the hydrological re-analyzed models, the highest correlation with received data from study area's evaporation pan was related to LISFLOOD model with a value of 0.87 and RMSE equal to 1.37 mm per day. The obtained results showed that the mean absolute error for the LISFLOOD model with the data provided from the study area's evaporation pan was 1.14 mm per day, on a daily time scale. The results showed that in the absence of area data, re-analyzed hydrological model can readily offer the best estimate of evaporation from the reservoirs' free surface on a monthly scale.

Keywords: Evaporation, Dam Reservoir, Hydrological Re-analyzed Model, Analytical And Experimental Model, Neural Network

* . Corresponding author: Atabak Feizi E-mail: a_feizi@uma.ac.ir Tel: + 989126972187

How to cite this Article: Vahabzadeh, Z., Feizi, A., & Malekani, L. (2023). Investigating the accuracy and efficiency of hydrological re-analyzed models in estimating the evaporation rate from dam reservoirs (Case study: Yamchi Dam, Ardabil). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, *12*(2), 47-62.
DOI: 10.22067/geoeh.2022.77129.1242

Geography and Environmental Hazards
Volume 12, Issue 2 - Number 46, Summer 2023
https://geoeh.um.ac.ir
https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.77129.1242

جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال دوازدهم، شمارۀ چهل و ششم، تابستان ۱۴۰۲، صص ۶۲-۴۷
مقاله پژوهشی

بررسی دقت و کارایی مدل‌های بازتحلیل شده هیدرولوژیکی در برآورد میزان تبخیر از مخازن سدها (مطالعه موردی: سد یامچی اردبیل)

زهرا وهابزاده - دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران- مهندسی و مدیریت منابع آب، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
اتابک فیضی[1]- دانشیار گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
لیلا ملکانی- استادیار گروه مهندسی عمران دانشکده فنی و مهندسی مرند، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۷/۲۲　　تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۹/۴　　تاریخ تصویب: ۱۴۰۱/۹/۱۰

چکیده

امروزه با در دست داشتن مدل‌های باز تحلیل شده هیدرولوژیکی به‌راحتی می‌توان به مقادیر موردنیاز تبخیر در زمان و مکان دلخواه دست پیدا کرد. در مقاله حاضر به بررسی کارایی مدل‌های بازتحلیل شدۀ هیدرولوژیکی SWBM، HTESSEL، HBV-SIMREG، Ensemble و LISFLOOD برای تخمین مقدار تبخیر از مخزن سد یامچی اردبیل پرداخته شد. جهت ارزیابی کارایی مقادیر تبخیر به دست آمده از مدل‌های باز تحلیل شده هیدرولوژیکی، از نتایج معادلۀ تحلیلی پنمن و مقادیر هشت رابطه تجربی جهت تخمین تبخیر از سطح آزاد آب استفاده گردید. همچنین در کنار این دو روش، دقت مدل‌های بازتحلیل شده با روش عصبی پیش‌خور نیز مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج به دست آمده نشان داد که مقادیر تبخیر حاصل از مدل تحلیلی پنمن دارای ضریب همبستگی ۰/۹۰ با داده‌های به دست آمده از تشت تبخیر منطقه موردمطالعه است. از میان مدل‌های بازتحلیل شدۀ هیدرولوژیکی بالاترین همبستگی با مقادیر تشت تبخیر توسط مدل LISFLOOD با مقدار ۰/۸۷ و RMSE برابر ۱/۳۷ میلی‌متر در روز به دست

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۱۲۶۹۷۲۱۸۷
Email: a_feizi@uma.ac.ir

نحوه ارجاع به این مقاله:

وهاب زاده آراسته، زهرا؛ فیضی، اتابک؛ ملکانی، لیلا؛ ۱۴۰۲. بررسی دقت و کارایی مدل‌های بازتحلیل شده هیدرولوژیکی در برآورد میزان تبخیر از مخازن سدها (مطالعه موردی: سد یامچی اردبیل). *جغرافیا و مخاطرات محیطی*. ۱۲(۲). صص ۶۲-۴۷
https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.77129.1242

آمد. نتایج به دست آمده همچنین نشان داد که مقدار MAE مدل LISFLOOD با داده‌های ثبت شده توسط تشت تبخیر در تخمین تبخیر از مخزن سد یامچی در حدود ۱/۱۴ میلی‌متر در روز بوده است. با توجه به نتایج حاصله می‌توان بیان کرد که برای تخمین تبخیر از مخازن سد در صورت عدم دسترسی به داده‌های منطقه، مدل‌های بازتحلیل شدهٔ هیدرولوژیکی می‌تواند تخمین مناسبی در مقیاس تبخیر روزانه در اختیار کاربر قرار دهد.

کلیدواژه‌ها: تبخیر، مخزن سد، مدل باز تحلیل شده هیدرولوژیکی، مدل تحلیلی و تجربی، شبکه عصبی مصنوعی.

۱- مقدمه

تبخیر یکی از مهم‌ترین اجزای چرخهٔ هیدرولوژیکی است و برآورد دقیق آن از اهمیت بالایی برخوردار است. متداول‌ترین روش اندازه‌گیری تبخیر در ایستگاه‌های سینوپتیک، استفاده از تشت تبخیر کلاس A است ولی این داده‌ها ممکن است دارای پوشش مکانی و زمانی مناسب نبوده و همچنین دارای خطای اندازه‌گیری باشند. امروزه وجود امنیت آبی برای اقتصاد تمام دنیا بسیار مهم و اساسی است. در بیشتر مناطق جهان دسترسی مستقیم به‌تمامی داده‌های آبی امکان‌پذیر نیست. تغییرات اقلیمی باعث تحت تأثیر قرار گرفتن بخش بزرگی از کشاورزی، صنعت و تولید نیروی برق‌آبی می‌شود به همین دلیل مدل‌های باز تحلیل شده هیدرولوژیکی یکی از ارزان‌ترین و قابل‌اعتمادترین روش‌ها برای به دست آوردن اطلاعات آبی موردنیاز است. محققان زیادی برای تخمین میزان تبخیر از روش‌های مختلفی استفاده کرده‌اند. یزدانی و همکاران (۱۳۹۰) با استفاده از روش‌های تجربی تبخیر و مقایسه آن با نتایج شبکه عصبی مصنوعی به این نتیجه رسیدند که شبکه عصبی مصنوعی کارایی بهتری در تخمین تبخیر در اراضی شالیزار آمل را دارد. همچنین روش تجربی ایوانف بالاترین همبستگی را با تشت تبخیر دارا بود. آبکار و همکاران (۱۳۹۳) با استفاده از مدل بازتحلیل شده CGCM و استفاده از روش ریز مقیاس نمایی SDSM به پیش‌بینی متغیرهای تغییر اقلیم در مقیاس منطقهٔ کرمان پرداختند. نتایج نشان داد که مدل تغییر اقلیم به نوع و دوره پایهٔ داده‌های بازتحلیل شده حساس است. خوشحال جهرمی (۱۳۹۴) به‌وسیله روش‌های تجربی، میزان تبخیر از دو اقلیم متفاوت استان فارس را موردبررسی قرار داد. نتایج به دست آمده نشان داد که روش مایر و ایوانف دارای دقت بالاتری هستند. نجفوند دریکوندی و اسلامی (۱۳۹۶) به مقایسه روش‌های تجربی برآورد تبخیر از سطح آزاد آب برای سد تنظیمی دز پرداختند. نتایج نشان داد رابطه مایر نسبت به سایر روش‌ها از دقت بالاتری برخوردار است. عزیزیان و همکاران (۱۳۹۹) در مطالعهٔ خود عملکرد داده‌های به دست آمده از تبخیر-تعرق مدل‌های بازتحلیل شده W3RA، HBV-SIMREG، PCR-GLOBW، WATER-GAP و Ensemble و داده‌های لایسیمتری را در بخش‌های مختلف ایران (قزوین، ارومیه، اهواز، بوشهر، رشت، گرگان، کردستان، مرکزی، یزد، رفسنجان، خراسان و کرمان) موردبررسی قرار

دادند. نتایج حاصله نشان داد مدل HBV- SIMREG دارای خطای کمتری نسبت به مدل‌های دیگر است. کوهی و همکاران (۱۳۹۹) در مطالعهٔ خود به ارزیابی مقدار تبخیر و تعرق در مدل‌های بازتحلیل شدهٔ GLEAM، W3RA و HBV در واسنجی مدل هیدرولوژیکی VIC-3L در حوضهٔ سفیدرود پرداختند. مقادیر این واسنجی با استفاده از شاخص کلینگ گوپتا[1] صحت‌سنجی شد. نتایج بررسی‌ها نشان داد که مقادیر تبخیر و تعرق مدل HBV با داشتن مقادیر بهتری از شاخص KGE در مقادیر ماهانه نسبت به سناریوی پایه از عملکرد بهتری برخوردار است. بیسلینک[2] و همکاران (۲۰۱٦) به بررسی تفاوت پارامتر بارش بین داده‌های مدل باز تحلیل شده LISFLOOD و داده‌های میدانی در منطقه جنوبی آفریقا پرداختند. بدین منظور از هفت مدل مبتنی بر ماهواره استفاده شد. نتایج نشانگر اختلاف قابل‌توجهی از نظر همبستگی خطی در داده‌های مدل LISFLOOD و داده‌های مشاهداتی در منطقهٔ موردمطالعه بود. یانگ[3] (۲۰۱۷) در تحقیق خود به بررسی تبخیر تعرق واقعی و داده‌های مدل بازتحلیل شدهٔ GLEAM در مقیاس روزانه، ماهانه و سالانه در کشور چین پرداخت. نتایج این ارزیابی نشان داد که مدل GLEAM در کل کشور چین به غیر از منطقهٔ زیشوانگ بانا از همبستگی بالایی برخوردار است. کوکولا[4] و همکاران (۲۰۲۰) به بررسی ۱۸ مدل بازتحلیل شدهٔ هیدرولوژیکی در زمینه بارش، رولناب، تبخیر تعرق و میزان ذخیره آب زیرزمینی در سه مقیاس مختلف در حوضه بالای نیل آبی در اتیوپی پرداختند. بدین منظور تحلیل روی چرخه هیدرولوژیکی و چرخه دینامیکی منطقه موردمطالعه انجام شد. نتایج بررسی‌ها نشان داد مدل‌های مربوط به تخمین جریان دارای دقت بالاتری نسبت به مدل‌های تبخیر و تعرق می‌باشند. دمبله[5] و همکاران (۲۰۲۰) به بررسی توانایی دوازده مجموعه داده تبخیر در مدل‌های هیدرولوژیکی برای رودخانهٔ ولتا در غرب آفریقا پرداختند. این دوازده مجموعه شامل مدل‌های تشخیصی مبتنی بر ماهواره (MOD16A2, SSEBop, ALEXI, CMRSET, SEBS)، مدل‌های پیش‌بینی کنندهٔ مبتنی بر ماهواره (GLEAM v3.2a, GLEAM v3.3a, GLEAM v3.2b, GLEAM v3.3) و مدل‌های بازتحلیل شده (ERA5, MERRA-2, JRA-55) بودند. با استفاده از چهار استراتژی کالیبراسیون چند متغیره، میزان تبخیر و مقدار رواناب، چهل‌وهشت سناریو تولید شد که از نتایج آن برای مقایسه داده‌های تبخیر با مدل معیار استفاده شد. نتایج نشان داد که سه مدل MERRA-2، GLEAM v3.3a و SSEBop بهترین پایگاه‌های محاسبه تبخیر برای این منطقه محسوب می‌شوند. لو[6] و همکاران (۲۰۲۱) در مطالعه خود به بررسی تبخیر از سطح روزانه بلندمدت با استفاده از داده‌های بازتحلیل شدهٔ هیدرولوژیکی از سال ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۷ در مقیاس جهانی پرداختند. در این مطالعه از ضریب تغییرات

1 Kling-Gupta (KGE)
2 Besselink
3 Yang
4 Koukoula
5 Dembélé
6 Lu

(CA[1]) و روش میانگین ضـریب اطمینان (REA[2]) برای ادغام سـه مدل بازتحلیل شـدهٔ ERA5، GLDAS2 و MERRA2 به‌منظور تولید داده‌های تبخیر از سطح روزانه استفاده شد. نتایج نشان داد میزان تبخیر روند کاهشی در دشت آمازون، آمریکای جنوبی و حوضه کنگو در آفریقای مرکزی و روند افزایشی در شرق آمریکای شمالی، غرب اروپا، جنوب آسیا و شمال اقیانوسیه دارد.

با توجه به مطالب ارائه شده، در زمینه بررسی کارایی و دقت مدل‌های بازتحلیل شدهٔ هیدرولوژیکی برای تخمین تبخیر از مخازن سد مطالعات کمتری صورت گرفته و تمرکز بیشتر مطالعات بر روی تخمین مقدار تبخیر-تعرق بوده است. ازآنجایی‌که تخمین مناسب تبخیر از مخازن سد می‌تواند کمک شایانی در مدیریت منابع آب داشته باشد، در مقاله حاضر به بررسی کارایی مدل‌های بازتحلیل شده هیدرولوژیکی برای تخمین میزان تبخیر از مخزن سد یامچی اردبیل در بازه زمانی ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۲ پرداخته شد. جهت بررسی کارایی و دقت نتایج حاصل از این مدل‌ها در تخمین میزان تبخیر، مقادیر به دست آمده با مقادیر روش‌های متداول مانند مدل تحلیلی پنمن، هشت مدل تجربی و درنهایت مقادیر حاصل از روش شبکه عصبی مصنوعی مورد ارزیابی قرار گرفت.

۲- مواد و روش‌ها

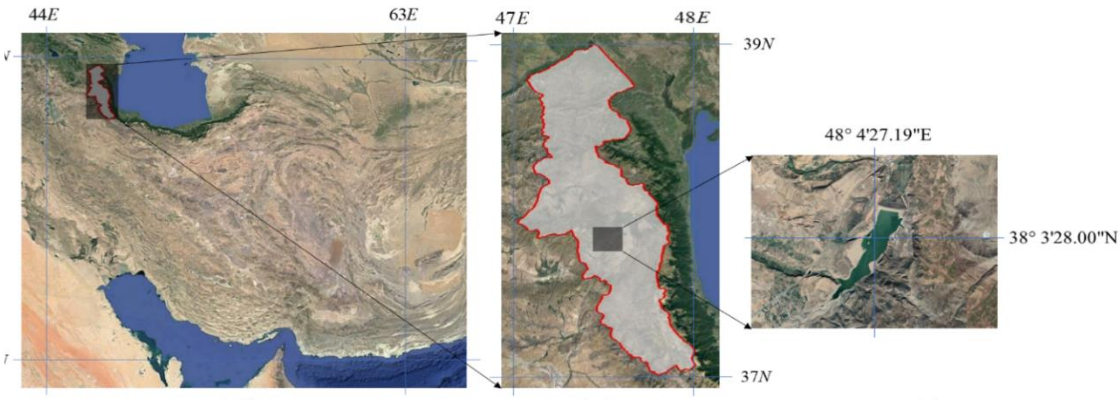
۲-۱- منطقه موردمطالعه

سد یامچی بر روی رودخانه بالیخلی‌چای اردبیل که از شرق رشته‌کوه سبلان جاری می‌شود قرار دارد. این سد در فاصله ۵ کیلومتری از شهرستان نیر از توابع استان اردبیل واقع شده است (شکل شماره ۱). سد یامچی به دلیل تأمین آب شرب و آبیاری اراضی پایین‌دست در شهر اردبیل، از لحاظ استراتژیکی جایگاه بسیار مهمی دارد. این سد در مختصات جغرافیایی ۳۸ درجه و ٤ دقیقه عرض شمالی و ٤٨ دقیقه و ۵ دقیقه طول شرقی قرار گرفته است. مجموع تبخیر در استان اردبیل بین ٦۰۰ تا ۱۷۰۰ میلی‌متر در سال متغیر است. در ارتفاعات و نواحی کوهستانی استان که به طبع دارای آب‌وهوای معتدل و یخبندان زیاد هستند میزان تبخیر کم‌تر است. این رقم در مرکز استان از ۱۱۰۰ تا ۱۳۰۰ میلی‌متر در سال متغیر است. برای منطقه موردمطالعه از اطلاعات موجود تبخیر سه ایستگاه سینوپتیک نیر، سرعین و اردبیل استفاده شد. مختصات این سه ایستگاه هواشناسی در جدول شماره ۱ ارائه شده است.

داده‌های روزانه و ماهانه تبخیر ارائه شده توسط مدل‌های بازتحلیل شده هیدرولوژیکی از سال ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۲ موجود می‌باشند. داده‌های روزانه تبخیر در ایستگاه سینوپتیک نیر که نزدیک‌ترین و مهم‌ترین ایستگاه به مخزن سد یامچی است، از سال ۲۰۰۹ برداشت شده است. ایستگاه سینوپتیک سرعین نیز تازه تأسیس است و دارای آمار طولانی‌مدت نیست. بدین منظور در این مطالعه به دو صورت عمل شده است. در قسمت اول از داده‌های تبخیر

1 Coefficient of Variation
2 Reliability Ensemble Average

روزانه و ماهانه سال‌های مشترک بین ایستگاه‌های سینوپتیک نیر، سرعین و اردبیل بین سال‌های ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۲ جهت بررسی تخمین میزان تبخیر از مخزن سد یامچی استفاده شد. در قسمت دوم به‌تنهایی از تبخیر اندازه‌گیری شده توسط تشت تبخیر مستقر در ایستگاه سینوپتیک اردبیل که دارای آمار بلندمدت از ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۲ است استفاده گردید.



شکل ۱- موقعیت منطقه موردمطالعه: الف) ایران ب) استان اردبیل ج) سد یامچی

جدول ۱- اطلاعات ایستگاه‌های سینوپتیک منطقه موردمطالعه

ایستگاه سینوپتیک	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	بازه زمانی موردمطالعه
نیر	$48° 37'$	$38° 20'$	۲۰۰۹ الی ۲۰۱۲
سرعین	$48° 05'$	$38° 08'$	
اردبیل	$48° 20'$	$38° 12'$	۱۹۸۰ الی ۲۰۱۲

۲-۲- مدل‌های بازتحلیل شده

در این تحقیق از مدل‌های بازتحلیل شدهٔ هیدرولوژیکی موجود در سایت Earth2observe استفاده شده است. Earth2observe یک رصد جهانی برای ارزیابی یکپارچه منابع آب است و تحت برنامهٔ FP7 پایه‌گذاری شده است. این پروژه از ژانویه ۲۰۱٤ آغاز شد و به مدت چهار سال تا پایان سال ۲۰۱۷ ادامه داشت. هدف کلی سایت کمک به ارزیابی منابع آب جهانی از طریق استفاده از مجموعه داده‌ها و تکنیک‌های جدید رصد زمین است. برای این منظور، مشاهدات و مدل‌های هیدرولوژیکی موجود را برای ایجاد منابع آبی منسجم در جهان، یکپارچه می‌نماید. در بیشتر مناطق موردمطالعه ممکن است داده‌های هواشناسی به‌درستی ثبت نشده باشند و یا دارای مقادیر زیادی خطا باشند. همچنین این داده‌ها ممکن است دارای پوشش مکانی و زمانی مناسبی نباشند و روند بسیاری از مطالعات را با اختلال

همراه سازند. درنتیجه استفاده از مدل بازتحلیل شدۀ مناسب می‌تواند کمک شایانی به پیشرفت بسیاری از پروژه‌های هیدرولوژیکی و مطالعات محیط زیستی بنماید. در این تحقیق از مقادیر تبخیر روزانه و ماهانه ارائه شده توسط مدل‌های بازتحلیل شدۀ هیدرولوژیکی SWBM، HTESSEL، HBV-SIMREG، Ensemble و LISFLOOD استفاده شده است.

۲-۳- مدل تحلیلی پنمن

در این تحقیق، کارایی مدل‌های باز تحلیل شده هیدرولوژیکی در تخمین میزان تبخیر روزانه و ماهانه با مقادیر ارائه شده توسط مدل تحلیلی پنمن مورد مقایسه قرار گرفت. معادله پنمن ترکیبی از معادلات بقای جرم و بقای انرژی است. رابطه این روش به‌صورت معادله شماره ۱ است.

$$E = (\frac{\Delta}{\Delta + \gamma})Q_n + (\frac{\gamma}{\Delta + \gamma})E_a \quad (۱)$$

که در آن، E تبخیر از سطح آزاد آب (mm/day)، Qn انرژی خالص موجود برای تبخیر آب (mm/day)، E_a قسمت آئرودینامیک معادله (mm/day)، Δ شیب منحنی فشار بخار اشباع (mbar/°c)، γ ضریب سایکرومتریک (mbar/°c)^2 می‌باشند.

۲-٤- مدل های تجربی

در این تحقیق از هشت معادله تجربی دالتون (Dalton)، مایر (Mayer)، شاهتین (Shahtin)، هنفر (Henfer)، مارسیانو (Marciano)، ایوانف (Ivanov)، تیچومیروف (Tikhomorov) و روهر (Rohwer) برای تخمین تبخیر روزانه و ماهانه از مخزن سد یامچی استفاده شد که فرمول مربوط به هر رابطه در جدول شماره ۲ ارائه شده است.

جدول ۲- معادلات تجربی جهت تخمین تبخیر از سطح مخزن سطح

نام معادله	فرمول معادله
دالتون	$E = 0.35(e_s - e_d)(0.5 + \frac{U_2}{100})$
مایر	$E = (1 + \frac{U}{16})C(e_s - e_d)$
شاهتین	$E = (0.116 + 0.017U)(e_s - e_d)$
هنفر	$E = 0.028U(e_s - e_d)$
مارسیانو	$E = 0.03U(e_s - e_d)$
ایوانف	$E = 0.0018(T + 25)^2(100 - RH)$
تیچومیروف	$E = (e_s - e_d)(15 + 3U_{10})$
روهر	$E = 0.771(1.456 - 0.000732P_a)(0.44 + 0.0733U_{0.6})(e_s - e_d)$

که در آن؛ E تبخیر از سطح آزاد آب بر حسب (mm/day)، e_s و e_a به ترتیب فشار بخار اشباع و فشار واقعی بخار آب (mbar) ، P_a میانگین فشار (mbar)، U_2 سرعت متوسط باد در ارتفاع ۲ متری (km/day)، C ضریبی است که برای دریاچه‌های عمیق ۰/۳۶ و برای دریاچه‌های کم‌عمق ۰/۵ در نظر گرفته می‌شود. همچنین U سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متری از سطح زمین (km/day)، T میانگین دمای هوا (درجه سانتی‌گراد)، RH میانگین رطوبت نسبی (درصد) است.

۲-۵- مدل هوش مصنوعی پیش‌خور Fitnet

شبکه‌های عصبی مصنوعی (Artificial Neural Networks – ANN) سیستم و روش یادگیری نوین برای نمایش داده‌ها و یادگیری ماشینی در جهت تولید خروجی از سامانه‌های پیچیده هستند. این سیستم از شمار زیادی عناصر پردازشی فوق‌العاده به‌هم‌پیوسته با نام نورون تشکیل شده که برای حل یک مسئله با هم هماهنگ عمل می‌کنند و توسط سیناپس‌ها (ارتباطات الکترومغناطیسی) اطلاعات را منتقل می‌کنند. شبکه‌های عصبی پیش‌خور (Feedforward Neural Network) یکی از انواع شبکه عصبی مصنوعی می‌باشند و نحوه کارکرد آن‌ها به‌صورت حرکت مستقیم داده‌ها روبه‌جلو است و با شبکه‌های بازگشتی متفاوت است. شبکه عصبی پیش‌خور دارای دو تابع Fitnet و Patternnet است. شبکه Patternnet برای کلاسه‌بندی و طبقه‌بندی داده‌ها و تابع Fitnet برای مدل‌سازی و پیش‌بینی داده‌ها استفاده می‌شود. در مطالعه حاضر برای شبیه‌سازی مقادیر تبخیر روزانه از مخزن سد یامچی از شبکه Fitnet استفاده شد. طراحی شبکه به‌صورت Fitnet دو و سه لایه مخفی انجام گردید. همچنین با در دست داشتن نه پارامتر مؤثر در تبخیر شامل دمای مینیمم، دمای ماکزیمم، دمای میانگین، بارش، ساعات آفتابی، سرعت باد ماکزیمم، سرعت باد میانگین، میانگین رطوبت و میانگین فشار از سطح دریا، سه ترکیب از ورودی‌ها برای هر شبکه بررسی شد و بیشترین همبستگی به‌عنوان بهترین جواب مشخص گردید.

۲-۶- شاخص‌های ارزیابی

به‌منظور ارزیابی عملکرد مدل‌ها از شاخص‌های R (همبستگی)، RMSE (جذر میانگین مربعات خطا) و MAE (میانگین مطلق خطا)، MSE (میانگین مربعات خطا) استفاده شد. این شاخص‌های آماری طبق روابط (۲) تا (۵) محاسبه می‌شوند:

$$R = \frac{\sum(X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{(\sum(X_i - \bar{X})^2 \sum(Y_i - \bar{Y})^2)}} \quad (۲)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(X_i - Y_i)^2}{N}} \quad (۳)$$

$$MAE = \frac{\sum(|X_i - Y_i|)}{N} \quad (٤)$$

$$MSE = \frac{\sum(X_i - Y_i)^2}{N} \quad (٥)$$

که در آن: X_i تبخیر مدل مرجع و Y_i تبخیر محاسبه شده با مدل‌های دیگر، $\bar{X}$ میانگین تبخیر مدل مرجع و $\bar{Y}$ میانگین تبخیر در هر مدل دیگر و N تعداد داده‌های موجود است.

۳- نتایج و بحث

به دلیل جدیدالاحداث بودن ایستگاه‌های سینوپتیک نیر و سرعین، جهت بررسی عمیق‌تر نتایج از داده‌های تبخیر روزانه و ماهانه اندازه‌گیری شده توسط تشت تبخیر مستقر در ایستگاه سینوپتیک اردبیل که دارای طول آماری ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۲ بود به‌صورت مجزا نیز استفاده شد. بدین منظور در این مطالعه به دو صورت عمل شده است. در قسمت اول از مقادیر تبخیر روزانه و ماهانه تشت تبخیر در سال‌های آماری مشترک بین ایستگاه‌های سینوپتیک نیر، سرعین و اردبیل (۲۰۰۹ تا ۲۰۱۲) استفاده گردید. در بخش دوم فقط از تبخیر روزانه و ماهانه ثبت شده در ایستگاه سینوپتیک اردبیل استفاده شد که دارای طول آماری بلندمدت از ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۲ است.

۳-۱- مقایسه نتایج مدل‌های باز تحلیل شده با مقادیر اندازه‌گیری شده تشت تبخیر در تخمین تبخیر از مخزن سد یامچی

به دلیل موقعیت جغرافیایی مخزن سد یامچی، یکبار مقادیر تبخیر روزانه و ماهانه تشت تبخیر در سال‌های مشترک ایستگاه‌های سینوپتیک منطقه (نیر، سرعین و اردبیل) به‌طور مجزا و بار دیگر به‌صورت تیسن‌بندی شده برای سال‌های آماری مشترک (۲۰۰۹ تا ۲۰۱۲) بین ایستگاه‌های مذکور مورد استفاده قرار گرفتند. در جدول شماره ۳ میزان همبستگی مقادیر تبخیر روزانه حاصل از مدل تحلیلی پنمن با داده‌های تشت تبخیر در سال‌های مشترک ایستگاه‌های سینوپتیک منطقه (نیر، سرعین و اردبیل) ارائه شده است. همبستگی مقادیر تبخیر اندازه‌گیری شده توسط تشت تبخیر با معادلهٔ تحلیلی پنمن در ایستگاه سینوپتیک نیر ۰/۹۱ به دست آمد. میزان این همبستگی در ایستگاه سینوپتیک سرعین کمتر از نیر و مقدار ۰/۸٦ و در اردبیل ۰/۸۸ را نشان می‌داد. وقتی این محاسبات بار دیگر به‌صورت تیسن‌بندی شده بین ایستگاه‌های فوق انجام شد مقدار همبستگی ۰/۹۰ به دست آمد. همچنین نتایج نشان داد که مقدار شاخص RMSE و MAE اعداد کوچکتری نسبت به حالت‌های غیرتیسن‌بندی نشان می‌دهند. به همین علت برای ادامه محاسبات در سال‌های مشترک ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۲ از داده‌های به دست آمده از تیسن‌بندی استفاده شد. همچنین نتایج به دست آمده نشان داد که میانگین مربعات خطای (MSE) معادلهٔ تحلیلی پنمن با مقادیر تشت تبخیر در سال‌های مشترک ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۲ در حدود ۰/۵۱ است.

در صورتی که فقط از داده‌های تبخیر روزانه تشت تبخیر در ایستگاه سینوپتیک اردبیل در بازه زمانی ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۲ استفاده شود، طبق جدول شماره ۳، همبستگی مقادیر تشت تبخیر این ایستگاه با مقادیر تبخیر حاصل از معادلهٔ

تحلیلی پنمن ۰/۷۹ حاصل می‌شود. نتایج حاصل شده همچنین نشان می‌دهد که میانگین مربعات خطای (MSE) روزانه تبخیر به دست آمده از معادلهٔ تحلیلی پنمن با داده‌های حاصل از تشت تبخیر در ایستگاه سینوپتیک اردبیل در حدود ۳/۲۲ می‌باشد. در جدول شماره ٤ میزان همبستگی تبخیر به دست آمده از مدل‌های بازتحلیل شدهٔ هیدرولوژیکی با مقادیر تبخیر حاصل از تشت تبخیر بین سال‌های مشترک ایستگاه‌های سینوپتیک منطقه (۲۰۰۹ تا ۲۰۱۲) و ایستگاه سینوپتیک اردبیل (۱۹۸۰ تا ۲۰۱۲) ارائه شده است. بدین منظور میزان تبخیر از مخزن سد یامچی در مقیاس زمانی روزانه و ماهانه توسط مدل‌های بازتحلیل شدهٔ هیدرولوژیکی SWBM، HTESSEL، HBV-SIMREG، Ensemble و LISFLOOD از سایت earth2observe دانلود گردید. با توجه به نتایج به دست آمده از جدول شماره ٤، بهترین همبستگی مقادیر تبخیر حاصل از مدل‌های باز تحلیل شده هیدرولوژیکی با در نظر گرفتن سال‌های مشترک ایستگاه‌های سینوپتیک منطقه (۲۰۰۹ تا ۲۰۱۲)، مدل LISFLOOD با مقادیر ۰/۸۷ و ۰/۸۸ به ترتیب برای مقادیر تبخیر روزانه و ماهانه حاصل شد. بعد از مدل LISFLOOD بیشترین شباهت به مقادیر تبخیر از تشت تبخیر را مدل SWBM با همبستگی ۰/۷۲ برای مقادیر تبخیر روزانه و مقدار ۰/۷۳ برای تبخیر ماهانه دارا می‌باشد. بقیه مدل‌های بازتحلیل شده برای مقادیر تبخیر روزانه و ماهانه همبستگی مناسبی را نشان ندادند. نتایج به دست آمده همچنین نشان می‌دهد که جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) تبخیر روزانه و ماهانه مدل LISFLOOD با داده‌های ثبت شده تشت تبخیر در سال‌های مشترک ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۲ به ترتیب در حدود ۱/۳۷ و ۳٤/۷۱ و میانگین مطلق خطا (MAE) به ترتیب در حدود ۱/۱٤ و ۳۱/٤۵ میلی‌متر در روز می‌باشد. مقادیر همبستگی به دست آمده با استفاده از داده‌های ایستگاه سینوپتیک اردبیل (۱۹۸۰ تا ۲۰۱۲) که در جدول شماره ٤ ارائه شده است نشان می‌دهد که مدل LISFLOOD با مقدار ۰/۵٦ برای مقادیر تبخیر روزانه و مقدار ۰/٤۲ برای تبخیر ماهانه همچنان مقادیر مناسبی را ارائه می‌دهد. بعد از مدل LISFLOOD مشابه با نتایج استفاده از سال‌های مشترک ایستگاه‌های سینوپتیک، بیشترین نزدیکی به داده‌های تشت تبخیر را مدل SWBM با همبستگی ۰/٤٤ برای مقادیر تبخیر روزلنه و مقدار ۰/٤۸ برای تبخیر ماهانه دارا می‌باشد. بقیه مدل‌های بازتحلیل شده برای مقادیر تبخیر روزانه و ماهانه همبستگی مناسبی را نشان ندادند. همچنین مقادیر به دست آمده بیانگر آن است که جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) تبخیر روزانه و ماهانه مدل LISFLOOD با داده‌های ثبت شده تشت تبخیر در ایستگاه سینوپتیک اردبیل به ترتیب در حدود ۲/۲٤ و ۳۲/٦۹ و میانگین مطلق خطا (MAE) به ترتیب در حدود ۱/۹۱ و ۱۸/۵٤ میلی‌متر در روز می‌باشد.

جدول ۳- میزان همبستگی مقادیر مدل تحلیلی پنمن با داده‌های تشت تبخیر ایستگاه‌های سینوپتیک منطقه

طول دوره آماری	ایستگاه سینوپتیک	R	RMSE	MAE
۲۰۰۹ تا ۲۰۱۲	نیر	۰/۹۱	۱/٦٦	۱/۳۵
	سرعین	۰/۸٦	۱/۹۲	۱/٤٦

طول دوره آماری	ایستگاه سینوپتیک	R	RMSE	MAE
	اردبیل	۰/۸۸	۱/۲۵	۰/۹۹
	استفاده از داده‌های ایستگاه‌ها به‌صورت تیسن‌بندی	۰/۹۰	۱/۲۱	۰/۹۱
۱۹۸۰ تا ۲۰۱۲	اردبیل	۰/۷۹	۲/۵۳	۱/۸۳

جدول ٤- مقایسه نتایج تبخیر حاصل از مدل‌های بازتحلیل شدهٔ هیدرولوژیکی با مقادیر تبخیر اندازه‌گیری شده توسط تشت تبخیر بین سال‌های مشترک ایستگاه‌های سینوپتیک منطقه (۲۰۰۹ تا ۲۰۱۲) و ایستگاه سینوپتیک اردبیل (۱۹۸۰ تا ۲۰۱۲)

	مدل بازتحلیل شده	R		RMSE (mm/day)		MAE (mm/day)	
		روزانه	ماهانه	روزانه	ماهانه	روزانه	ماهانه
بر اساس سال‌های مشترک ایستگاه‌های سینوپتیک نیر، سرعین و اردبیل (۲۰۰۹ تا ۲۰۱۲)	SWBM	۰/۷۲	۰/۷۳	۱/۵۷	۳۸/۰۲	۱/۲۶	۳٤/٦٥
	HTESSEL	۰/۳٦	۰/۲٦	۱/۸۲	٤۳/٤۸	۱/۳۸	۳۷/۲۰
	HBV_SIMREG	۰/۲٦	۰/۲۸	۱/۸۸	٤۳/۱۰	۱/٤۹	۳۷/۲۵
	Ensemble	۰/٤۰	۰/۳۹	۲/۰۰	٥۰/۹۹	۱/٥٥	٤٥/۸۹
	LISFLOOD	۰/۸۷	۰/۸۸	۱/۳۷	۳٤/۷۱	۱/۱٤	۳۱/٤٥
بر اساس داده‌های ایستگاه سینوپتیک اردبیل (۱۹۸۰ تا ۲۰۱۲)	SWBM	۰/٤٤	۰/٤۸	۳/۱۰	٥۸/۸۲	۲/٤٤	٥۳/۷٤
	HTESSEL	۰/۱٥	۰/۲٥	۳/۳۳	٦۰/۸۰	۲/٥۷	٥٥/۳۲
	HBV_SIMERG	-۰/۰۷	۰/۱٤	۳/٤۸	٦۰/۳٦	۲/۷۷	٥٤/۷۸
	Ensemble	۰/۰٥	۰/۲	۳/٥۱	٦٦/۹٦	۲/۷۱	٦۱/۲٤
	LISFLOOD	۰/٥٦	۰/٤۲	۲/۲٤	۳۲/٦۹	۱/۹۱	۱۸/٥٤

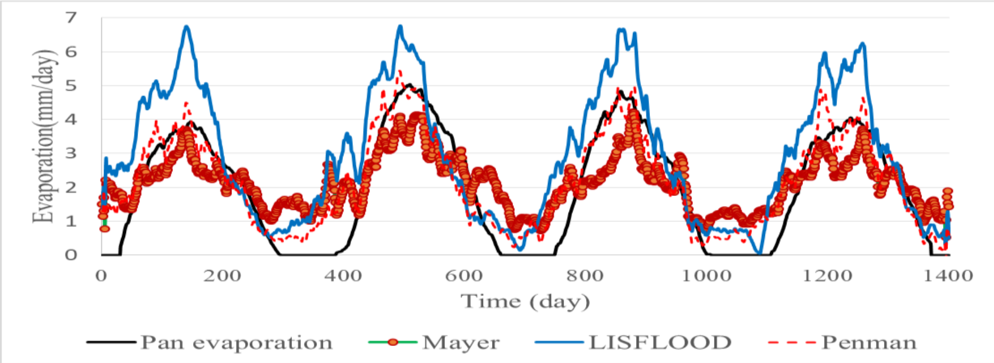
۳-۲- مقایسه نتایج تبخیر حاصل از روابط تجربی با مقادیر اندازه‌گیری شده تشت تبخیر در تخمین تبخیر از مخزن سد یامچی

در این تحقیق، نتایج به دست آمده از معادله‌های تجربی برای تخمین تبخیر از مخزن سد یامچی هم با استفاده از سال‌های مشترک بین ایستگاه‌های سینوپتیک منطقه و هم با استفاده از داده‌های ایستگاه سینوپتیک اردبیل در جدول شماره ٥ ارائه شده است. نتایج حاصله نشان‌دهنده آن است که بالاترین همبستگی تبخیر روزانه و ماهانه با داده‌های تشت تبخیر در سال‌های مشترک مربوط به ایستگاه‌های سینوپتیک منطقه (نیر، سرعین و اردبیل) مربوط به روابط تجربی مایر و ایوانف به ترتیب با مقادیر ۰/۸۷ و ۰/۹۱ می‌باشد. با توجه به نتایج به دست آمده و با در نظر گرفتن سه فاکتور میزان همبستگی، RMSE و MAE فرمول تجربی مایر مناسب‌ترین رابطه برای تخمین تبخیر از مخزن سد یامچی بوده است. همچنین با مقایسه مقادیر RMSE و MAE و روند تبخیر بین داده‌های روزانه و ماهانه می‌توان به

این نتیجه رسـید که مدل‌های تجربی مذکور برای داده‌های روزانه کارآمدتر از ماهانه عمل کرده‌اند. در صـورتی که به تنهایی از داده‌های ایستگاه سینوپتیک اردبیل در سال‌های ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۲ استفاده شود، طبق جدول شماره ۵، همچنان رابطه تجربی مایر مقادیر مناسبی از تبخیر مخزن سد یامچی ارائه داده است. در این حالت جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) تبخیر روزانه و ماهانه رابطه مایر با داده‌های ثبت شـده تشـت تبخیر در ایسـتگاه سـینوپتیک اردبیل به ترتیب در حدود ۲/۲۲ و ۳۶/۲۵ و میانگین مطلق خطا (MAE) به ترتیب در حدود ۱/۸۳ و ۲۲/۷۴ میلی‌متر در روز می‌باشد. نتیجه مشـابه این تحقیق، در کار تحقیقی نجفوند دریکوندی و اسـلامی (۱۳۹۶) نیز ارائه شـده اسـت. شـکل شـماره ۲ روند تبخیر روزانه تشـــت تبخیر، نتایج مدل تحلیلی پنمن، بهترین مدل تجربی و مناســـب‌ترین مدل بازتحلیل شـــده هیدرولوژیکی را با در نظر گرفتن سـال‌های مشـترک ایسـتگاه‌های سـینوپتیک منطقه (۲۰۰۹ تا ۲۰۱۲) را نشـان می‌دهد. چنانچه دیده می‌شود، مقادیر ارائه شده توسط مدل باز تحلیل شده تمایل به بیش برآوردی دارد.

جدول ۵- مقایسه نتایج تبخیر حاصل از روابط تجربی با مقادیر تبخیر اندازه‌گیری شده توسط تشت تبخیر بین سال‌های مشترک ایستگاه‌های سینوپتیک منطقه (۲۰۰۹ تا ۲۰۱۲) و ایستگاه سینوپتیک اردبیل (۱۹۸۰ تا ۲۰۱۲)

	روابط تجربی	R		RMSE (mm/day)		MAE (mm/day)	
		روزانه	ماهانه	روزانه	ماهانه	روزانه	ماهانه
بر اساس سال‌های مشترک ایستگاه‌های سینوپتیک نیر، سرعین و اردبیل (۲۰۰۹ تا ۲۰۱۲)	دالتون	۰/۸۴	۰/۹۲	۱/۵۷	۴۴/۰۳	۰/۸۴	۳۷/۳۶
	مایر	۰/۸۷	۰/۹۱	۱/۰۶	۱۷/۸۶	۰/۹۲	۱۲/۷۳
	شاهتین	۰/۸۴	۰/۸۸	۱/۸۱	۴۵/۶۹	۱/۴۶	۴۰/۹۷
	هنفر	۰/۶۰	۰/۶۶	۲/۲۲	۵۹/۱۸	۱/۷۴	۵۴/۲۴
	مارسیانو	۰/۶۰	۰/۶۶	۲/۲۰	۵۸/۴۱	۱/۷۲	۵۳/۵۱
	ایوانف	۰/۸۸	۰/۹۱	۱/۴۹	۳۶/۶۴	۱/۲۵	۲۹/۹۴
	تیچومیروف	۰/۸۳	۰/۸۸	۱/۵۷	۳۷/۱۵	۱/۳۱	۳۲/۵۰
	روهور	۰/۸۵	۰/۹۰	۱/۰۹	۱۹/۲۶	۰/۹۱	۱۵/۲۲
بر اساس داده‌های ایستگاه سینوپتیک اردبیل (۱۹۸۰ تا ۲۰۱۲)	دالتون	۰/۶۲	۰/۳۱	۳/۳۵	۶۹/۲۵	۲/۶۰	۶۳/۵۷
	مایر	۰/۵۸	۰/۲۸	۲/۲۲	۳۶/۲۵	۱/۸۳	۲۲/۷۴
	شاهتین	۰/۵۳	۰/۲۳	۳/۳۷	۶۹/۰۰	۲/۶۳	۶۳/۲۵
	هنفر	۰/۳۱	۰/۰۶	۳/۶۵	۷۶/۰۳	۲/۸۳	۶۹/۸۵
	مارسیانو	۰/۳۱	۰/۰۶	۳/۶۲	۷۵/۱۲	۲/۸۱	۶۹/۰۰
	ایوانف	۰/۶۰	۰/۲۹	۳/۴۴	۷۱/۳۱	۲/۶۶	۶۵/۵۲
	تیچومیروف	۰/۵۱	۰/۲۱	۳/۰۹	۶۰/۰۰	۲/۴۷	۵۴/۴۳
	روهور	۰/۵۵	۰/۲۵	۲/۶۹	۴۸/۶۵	۲/۲۱	۴۲/۰۴



شکل ۲- مقایسه روند تبخیر روزانه مقادیر تشت تبخیر با نتایج مدل تحلیلی پنمن، رابطه تجربی مایر و مدل بازتحلیلی LISFLOOD بین سال‌های مشترک ایستگاه‌های سینوپتیک منطقه (۲۰۰۹ تا ۲۰۱۲)

۳-۳- مقایسه نتایج تبخیر حاصل از شبکه عصبی مصنوعی با مقادیر اندازه‌گیری شده تشت تبخیر در تخمین تبخیر از مخزن سد یامچی

در این تحقیق، با استفاده از قابلیت نرم‌افزار Matlab، شبکه هوش مصنوعی Fitnet جهت تخمین میزان تبخیر از مخزن سد یامچی کدنویسی شد. بدین منظور از داده‌های تشت تبخیر روزانه استفاده شده است. با توجه به در دسترس بودن اطلاعات نه پارامتر مربوط جهت تخمین مقدار تبخیر، از سه ترکیب متفاوت برای ورودی‌های شبکه استفاده شد که در جدول شماره ٦ ارائه شده است. برای لایه خروجی نیز از داده‌های تبخیر محاسبه شده به روش تحلیلی پنمن استفاده شد. طراحی شبکه به‌صورت دو و سه لایه مخفی صورت گرفت و با استفاده از بهینه‌سازی تعداد نرون‌ها، حد بالای آن‌ها در هر لایه تعداد ده عدد در نظر گرفته شد. برای داشتن تعداد نرون بهینه در هر لایه از حلقه‌های For تودرتو استفاده شد. شرط توقف مدل، میزان خطای کمتر MSE انتخاب گردید و در آخر بر اساس شبکه طراحی شده و ورودی‌های آن، داده‌های پیش‌بینی شده محاسبه گردیدند. همچنین از تابع لونبرگ-مارکو برای آموزش شبکه استفاده گردید. چون شبکه Fitnet از توابع آماده برای شبکه پیش‌خور است به‌صورت پیش‌فرض داده‌های آموزش و اعتبارسنجی را جدا می‌کند و نیازی به دستور مستقیم از سمت کاربر وجود ندارد. مقدار همبستگی با مقادیر تشت تبخیر و داده‌های پیش‌بینی شده توسط شبکه با توجه به ترکیب‌های ورودی ارائه شده در جدول شماره ٦، تعداد نرون‌ها و لایه‌های پنهان شبکه به دست آمد.

جدول ٦- ترکیب‌های داده‌های ورودی شبکه Fitnet

ترکیب داده‌های ورودی	داده‌های ورودی شبکه Fitnet	داده خروجی شبکه Fitnet
ترکیب ۱	دمای مینیمم-دمای ماکزیمم- میانگین دما-ساعات آفتابی-بارش-حداکثر سرعت باد-میانگین فشار-میانگین رطوبت هوا-میانگین سرعت باد	داده‌های تشت تبخیر ایستگاه‌های منطقه
ترکیب ۲	میانگین فشار-میانگین رطوبت هوا- میانگین دما- میانگین سرعت باد- بارش	

ترکیب داده‌های ورودی	داده‌های ورودی شبکه **Fitnet**	داده خروجی شبکه **Fitnet**
ترکیب ۳	دمای مینیمم–دمای ماکزیمم– میانگین دما– میانگین فشار– ساعات آفتابی	

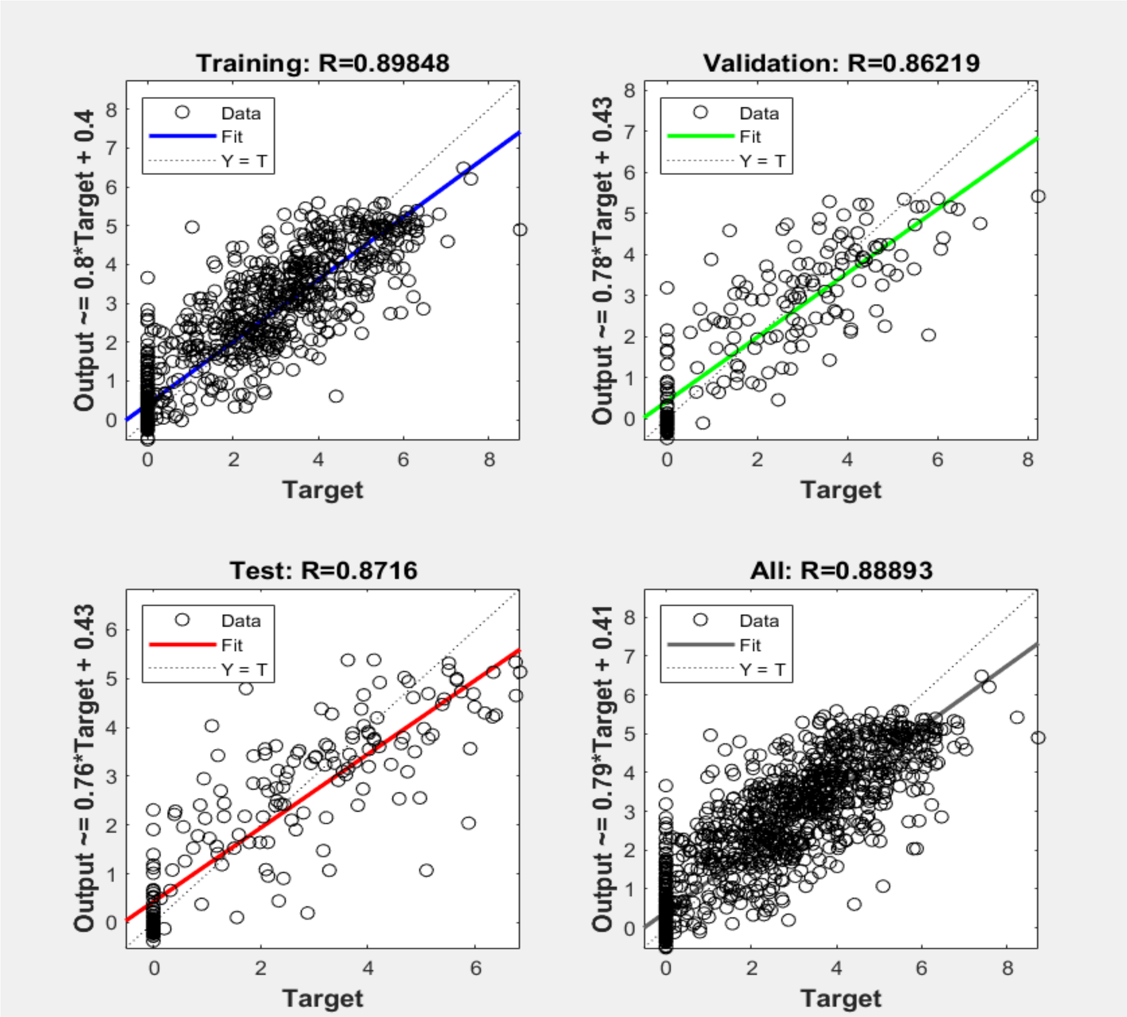
با توجه به نتایج به دست آمده از جدول شماره ۷ می‌توان نتیجه گرفت که سه لایه مخفی بهتر از دو لایه مخفی جواب داده است. تعداد بهینه نرون‌ها برای شبکه با دو لایه مخفی در هر سه ترکیب، یک نرون برای لایه اول و سه نرون در لایه دوم را نشان می‌دهد. بهترین نتیجه مربوط به شبکه سه لایه‌ای هم در سال‌های مشترک ایستگاه‌های سینوپتیک منطقه و هم در ایستگاه سینوپتیک اردبیل با ترکیب ورودی شماره دو و تعداد نرون‌های ۱۰ حاصل شده است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) تبخیر روزانه بهترین شبکه عصبی با داده‌های ثبت شده تشت تبخیر در سال‌های مشترک ایستگاه‌های سینوپتیک منطقه ۰/۹۲ و در ایستگاه سینوپتیک اردبیل ۲/۴۵ میلی‌متر در روز می‌باشد. درنهایت همبستگی داده‌های آموزش، تست و اعتبارسنجی بهترین شبکه در سال‌های مشترک ایستگاه‌های سینوپتیک منطقه در شکل شماره ۳ ارائه شده است.

جدول ۷- اطلاعات مربوط به خطای شبکه و میزان همبستگی برای شبکه‌های موجود بین سال‌های مشترک ایستگاه‌های سینوپتیک منطقه (۲۰۰۹ تا ۲۰۱۲) و ایستگاه سینوپتیک اردبیل (۱۹۸۰ تا ۲۰۱۲)

	ساختار شبکه پیش‌خور*	تعداد نرون بهینه**	ضریب همبستگی			RMSE
			Train	**Test**	**MSE**	
بر اساس سال‌های مشترک ایستگاه‌های سینوپتیک نیر، سرعین و اردبیل (۲۰۰۹ تا ۲۰۱۲)	۱-۲	۳-۱	۰/۸۸	۰/۸۶	۰/۹۷	۰/۹۸
	۲-۲	۳-۱	۰/۸۷	۰/۸۸	۱/۰۹	۱/۰۴
	۳-۲	۳-۱	۰/۸۶	۰/۸۵	۱/۰۷	۱/۰۳
	۱-۳	۱۰-۱۰-۱۰	۰/۹۰	۰/۸۷	۰/۸۷	۰/۹۳
	۲-۳	۱۰-۱۰-۱۰	۰/۹۰	۰/۸۷	۰/۸۵	۰/۹۲
	۳-۳	۱۰-۱۰-۱۰	۰/۸۹	۰/۷۷	۰/۹۵	۰/۹۷
بر اساس داده‌های ایستگاه سینوپتیک اردبیل (۱۹۸۰ تا ۲۰۱۲)	۱-۲	۳-۱	۰/۶۹	۰/۶۷	۶/۴۵	۲/۵۴
	۲-۲	۳-۱	۰/۷۰	۰/۷۰	۶/۱۴	۲/۴۸
	۳-۲	۳-۱	۰/۶۷	۰/۶۸	۶/۷۰	۲/۵۹
	۱-۳	۱۰-۱۰-۱۰	۰/۷۱	۰/۶۶	۶/۲۴	۲/۵۰
	۲-۳	۱۰-۱۰-۱۰	۰/۷۱	۰/۷۱	۵/۹۸	۲/۴۵
	۳-۳	۱۰-۱۰-۱۰	۰/۷۰	۰/۷۱	۶/۴۰	۲/۵۳

*: عدد اول از سمت چپ نشان‌دهنده تعداد لایه و عدد دوم ترکیب ورودی است.

**: عدد اول از سمت چپ نشان‌دهنده تعداد بهینه نرون در لایه اول، عدد دوم تعداد بهینه نرون در لایه دوم و عدد سوم تعداد بهینه نرون در لایه سوم



شکل ٣- بهترین میزان همبستگی دادهای پیش‌بینی شده توسط شبکه Fitnet با داده‌های تشت تبخیر مربوط به سال‌های آماری مشترک ایستگاه‌های سینوپتیک منطقه (٢٠٠٩ تا ٢٠١٢)

٤- جمع‌بندی

تبخیر به دلیل گسترۀ تغییرات مکانی و زمانی برای مطالعات آب و کشاورزی بسیار حائز اهمیت است. کشور ایران در منطقۀ خشک و نیمه‌خشک قرار دارد و محاسبات تبخیر یکی از لزومات جدی به شمار می‌آید ولی عدم پوشش مکانی مناسب ایستگاه‌های هواشناسی موجب ایجاد کمبود اطلاعات در این باب شده است. نتایج مهمی که از این تحقیق به دست آمده است به‌صورت زیر هستند:

۱–از بین مدل‌های بازتحلیل شــده هیدرولوژیکی، مدل‌های LISFLOOD و SWBM به ترتیب با بالاترین همبســتگی و کمترین RMSE و MAE توانســته‌اند که میزان تبخیر از مخزن ســد یامچی را با تخمین مناســبی شبیه‌سازی برآورد کنند.

۲–با توجه به مقادیر جذر میانگین مربعات خطا و میانگین مطلق خطا می‌توان نتیجه گرفت که نتایج مدل‌های بازتحلیل شده هیدرولوژیکی در تخمین میزان تبخیر از مخزن سد یامچی در مقیاس زمانی روزانه بهتر از ماهانه بوده و توصیه به استفاده از داده‌های روزانه تبخیر این مدل‌ها در بررسی تبخیر از مخازن سد می‌شود.

۳– از میان روابط تجربی اســتفاده شــده در این تحقیق جهت تخمین میزان تبخیر از مخزن ســد یامچی، رابطه تجربی مایر با بالاترین همبســتگی و کمترین RMSE و MAE بهترین عملکرد را دارا اســت. همچنین روابط تجربی نیز در مقیاس تبخیر روزانه نتایج بهتری را ارائه داده است.

٤– بهترین نتیجه شبکهٔ عصبی پیش‌خور (Fitnet) جهت تخمین تبخیر از مخزن سد یامچی در حالت سه لایه و با پنج ورودی با تعداد نرون ۱۰ در هر لایه به دست آمد. به دلیل نیاز به داده‌های کافی جهت استفاده در شبکه عصــبی، توصــیه به اســتفاده از داده‌های روزانه تبخیر می‌شــود. از بین روش‌های موردبررســی، به ترتیب معادله تحلیلی پنمن، شــبکه عصــبی بهترین تخمین تبخیر از مخزن ســد یامچی داشــته‌اند. مدل‌های باز تحلیل شــده هیدرولوژیکی و رابطه تجربی مایر نیز همزمان در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند.

٥– در مناطقی با کمبود داده و اطلاعات، اســتفاده از مدل‌های بازتحلیل شــده به دلیل عدم نیاز به مجموعه داده‌های زیاد، با در نظر گرفتن مقدار خطای قابل قبول می‌تواند روش جایگزین خوبی برای تخمین میزان تبخیر از مخازن سد باشد.

کتابنامه

آبکار، علی جان؛ حبیب نژاد، محمود؛ ســلیمانی، کریم؛ نقوی، هرمزد؛ ۱۳۹۳. حســاســیت مدل ریزمقیاس‌نمایی SDSM بــه داده‌هــای بــاز تــحــلــیــل شـــده در مــنــاطــق خشــک. خشــکــبــوم. ۲۷–۱۱. (۲)٤. http://aridbiom.yazd.ac.ir/article_616.html

خوشــحال جهرمی، فاطمه؛ ۱۳۹٤. تعیین بهترین روش تجربی برآورد تبخیر از ســطح آزاد آب در دو اقلیم متفاوت ازاستان فارس (مطالعه موردی شهرستان آباده و لار). سومین همایش سراسری کشاورزی و منابع طبیعی پایدار. تهران. https://civilica.com/doc/416558/

عزیزیان، اصــغر؛ بهمن آبادی، بهاره؛ جناب، مهنوش؛ ۱۳۹۹. برآورد تبخیروتعرق پتانســیل با اســتفاده از مدلهای بازتحلیل شده مبتنی بر مشاهدات جهانی در اقلیم‌های مختلف ایران. نشریه حفاظت *منابع آب و خاک* (علمی – پژوهشی). ۱–۱۸، (۱) ۱۰. https://wsrcj.srbiau.ac.ir/article_17322.html

کوهی، سکینه؛ عزیزیان، اصغر؛ بروکا، لوکا؛ ۱۳۹۹. بررسی کارایی منابع تبخیر و تعرق بازتحلیل شده برای واسنجی مدل هیدرولوژیکی توزیعی با رویکرد کاربرد در حوضه‌های فاقد آمار. *تحقیقات آب و خاک ایران (علوم کشاورزی ایران)*. ۵۱ (۵). ۱۲۱۰–۱۱۹۵. https://ijswr.ut.ac.ir/article_74834.html

نجفوند دریکوندی، مهدی؛ اسلامی، حسین؛ ۱۳۹۵. مقایسه روش‌های تجربی برآورد تبخیر از سطح آزاد آب (مطالعه موردی: سد تنظیمی دز). *فصلنامه علمی تخصصی مهندسی آب*. ۶۵–۷۳، (۲) ٤. https://jwe.shoushtar.iau.ir/article_531785.html

یزدانی، وحید؛ قهرمان، بیژن؛ داوری، کامران؛ ۱۳۹۰. تعیین بهترین روش تجربی برآورد تبخیر از سطح آزاد در اراضی شالیزاری آمل بر پایه آنالیز حساسیت و مقایسه آن با نتایج شبکه عصبی مصنوعی، *مجله پژوهش آب ایران*. (۷) ٤، ٤٧. https://iwrj.sku.ac.ir/article_11124.html

Bisselink, B., Zambrano-Bigiarini, M., Burek, P., & de Roo, A., 2016. Assessing the role of uncertain precipitation estimates on the robustness of hydrological model parameters under highly variable climate conditions. Journal of Hydrology: Regional Studies, 8, 112–129 https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2016.09.003

Dembélé, M., Ceperley, N., Zwart, S. J., Salvadore, E., Mariethoz, G., & Schaefli, B., 2020. Potential of satellite and reanalysis evaporation datasets for hydrological modelling under various model calibration strategies. Advances in Water Resources, 143, 103667. https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2020.103667

Koukoula, M., Nikolopoulos, E. I., Dokou, Z., & Anagnostou, E. N., 2020. Evaluation of Global Water Resources Reanalysis Products in the Upper Blue Nile River Basin. Journal of Hydrometeorology, 21(5), 935–952. https://doi.org/10.1175/JHM-D-19-0233.1

Lu, J., Wang, G., Chen, T., Li, S., Hagan, D. F. T., Kattel, G., Su, B., 2021. A harmonized global land evaporation dataset from model-based products covering 1980–2017. Earth System Science Data, 13(12), 5879–5898. https://doi.org/10.5194/essd-13-5879-2021

Yang, X., Yong, B., Ren, L., Zhang, Y., & Long, D., 2017. Multi-scale validation of GLEAM evapotranspiration products over China via ChinaFLUX ET measurements. International Journal of Remote Sensing, 38(20), 5688–5709. https://doi.org/10.1080/01431161.2017.1346400